

文章编号: 1006-7736(2011)01-0051-04

船舶领域研究综述^{*}

刘绍满^a, 王 宁^b, 吴兆麟^a

(大连海事大学 a. 航海学院; b. 轮机工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 通过对现有船舶领域模型进行分类综述和分析, 总结基于各类研究方法的主要研究成果及其主要特点, 剖析其存在的主要问题, 阐明船舶领域研究的核心思想和意义, 明确提出船舶领域研究的几个具有理论和实际意义的可能的研究方向。

关键词: 船舶领域; 水上交通; 研究成果

中图分类号: U 675

文献标志码: A

Review of research on ship domain

LIU Shaoman^a, WANG Ning^b, WU ZhaoLin^a(a. Navigation College; b. Marine Engineering College,
Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract The paper summarized the main research results and corresponding characteristics of types of research methods based on the classification review and analysis of ship domain models, and the main problems were investigated to demonstrate the essence and meaning of study on ship domain, and then several theoretical and practical possible research areas of ship domain are definitely proposed.

Key words: ship domain; marine transportation; research results

0 引 言

海上智能交通作为我国科技发展战略的重要组成部分, 已逐渐成为船舶交通与信息科学有效融合的新兴交叉研究热点。而对于组成海上交通系统的个体船舶行为的研究, 则显得尤为重要。其中, 船舶领域理论自提出到现在已有 40 多年的时间, 被认为是研究船舶行为和船舶交通最为有效的理论之一。其核心思想是, 赋予船舶以人的行为方式和感知能

力, 在船舶周围定义一个主观或客观的不受侵犯的区域。

船舶领域的研究和应用之所以一直是国内外学者的研究热点和难点问题, 究其原因主要体现在以下几个方面: (1) 船舶领域模型是船舶碰撞危险度评价、航行安全、避碰决策、海上交通容量和航道规划设计等研究的重要理论依据; (2) 船舶领域受多种异类复杂不确定性因素影响, 如人、环境(包括自然环境和交通环境等)和船舶本身的因素等, 难以用传统的建模方法进行统一或系统的解析描述; (3) 现有的研究方法基本上是通过船舶驾驶员进行问卷调查、海上交通观测或航海模拟器操作来获得建模数据, 采用聚类分析或统计方法对这些经验或主观数据进行处理, 得到某一种特定的船舶领域模型。这样的研究方法一方面增加了影响船舶领域因素的不确定性; 另一方面使得所得到的模型具有很大的局限性。仅限于定性研究, 并不能揭示船舶领域与影响因素之间的内在本质关系; (4) 影响船舶领域的因素繁多, 现有的研究结果大都限于某些或某类因素, 如船速、船长、会遇情况等容易获得的信息, 而对于人、环境及船舶稳性和操纵性等不确定因素极少考虑, 甚至从未考虑。这显然大大降低了船舶领域理论及其应用价值, 也与其人船合一的思想相左。此外, 船舶的大型化、快速化和自动化程度日益提高, 化学品、液化气等特种船舶逐年增多, 加上海域油气开发、养殖面积扩大, 使得水上交通密度加大、环境恶化, 干扰航行安全的因素不断增多。因而, 运用传统方法获得船舶领域模型的难度也随之增加。

鉴于以上分析, 本文从研究方法的角度, 将船舶

^{*} 收稿日期: 2010-11-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51009017); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2009QN025)。

作者简介: 刘绍满(1979—), 男, 长春人, 讲师, E-mail: conquerman197922@yahoo.com.cn。

通信作者: 吴兆麟(1947—), 男, 江苏盐城人, 教授, E-mail: wuzl@dlmu.edu.cn。

领域分为基于统计方法、解析表达和智能技术的领域模型,分别综述其研究成果,并深入分析各种领域模型的本质特点,并对船舶领域研究的发展方向提出几点展望。

1 基于统计方法的船舶领域

20 世纪六七十年代,文献[1]在研究日本附近海域的交通容量时首次提出了船舶领域的概念,将其定义为绝大多数后继船舶的驾驶员避免进入前一艘在航船舶周围的水域,并通过交通调查和概率统计的方法,给出了适用于当时狭窄水域的椭圆形船舶领域模型和相应尺寸。同一时期,文献[2]通过对北海南部水域进行交通观测和统计研究,并考虑国际海上避碰规则的影响,建立了开阔水域的船舶领域模型。该船舶领域由船舶号灯划分的 3 个不等扇形组成,并被认为是任何一艘船舶保持航行安全所需的水域。随后,文献[3]针对 Goodwin 模型边界不连续、难以仿真和应用等缺点,通过平滑船舶领域边界提出了便于仿真和应用的圆形船舶领域。该模型使得本船不再位于中心,而是将其向左下方偏移,从而保留了 Goodwin 模型的优点。基于 Davis 模型研究船舶避碰行为时,建立了 Davis 动界模型^[4],其含义是为保持本船 Davis 船舶领域不受侵犯而设置的驾驶员需提前采取适当避碰行为的超级 Davis 船舶领域。文献[5]在 Fujii 模型基础上,考虑了海上避碰规则的影响,建立的对遇情况的船舶领域模型是中心船向左偏移的半个椭圆,而追越情况的船舶领域模型与 Fujii 模型相似,只是尺寸上有所差异。

早期的研究成果为海上交通容量和船舶避碰行为等研究提供了重要的理论依据和有效工具。这个时期的船舶领域尽管模型的形状和尺寸各有差异,但其研究手段均采用统计或聚类的方法。具体地,通过海上交通观测和雷达模拟器试验获得数据,采用概率统计的方法对所得数据进行分析,结合特定水域的航行密度、所观测船舶的大小和速度以及国际海上避碰规则等,确定所研究水域的船舶领域模型的形状和大小。给出的特定水域内船舶领域的数值模型不仅具有明显的局限性,实际上是一种从定性和定量输入到常量输出的主观假定,并没有建立输入到输出之间的函数关系。因此,早期的研究可认为是船舶领域模型的定性研究,而且影响船舶领域的很多重要因素,如人、环境和船舶性能等并未考虑。由于影响船舶领域的因素大多是抽象的定性因素,很难用数理统计的方法来量化或建模,因此基于统

计方法的船舶领域研究似乎变得越来越困难。此外,船舶驾驶员和领域专家的经验知识起着重要的作用。显然,运用单一的统计方法已很难充分挖掘和表达其中的信息。

文献[6]在研究船舶避碰决策数学模型时,通过对船舶驾驶员的避碰行为进行一系列的问询调查,并针对不同的会遇情况做具体分析,建立互见中开阔水域、能见度不良时和狭水道或航道中船舶领域。该模型考虑了环境因素中能见度的影响,并细化了船舶领域对于不同会遇情形的模型。文献[7]采用类似的研究方法提出了一些特定拥挤水域的船舶领域模型,具有一定的应用价值。文献[8—10]将来船方位按不同的间隔角度进行离散化,将获得的经验数据在不同来船方位上进行统计分析,并结合船舶碰撞危险度的评价,得到多边形船舶领域。由于该模型考虑了来船方位的影响和驾驶员操船知识的差异,Pietrzykowski 船舶领域不再是一个定常模型,而是随所考虑的影响因素动态变化。其中的最大、最小和平均船舶领域,可认为是 Davis 动界的进一步扩展。但遗憾的是,上述模型均未考虑诸如驾驶员心理、生理和经验等因素以及环境因素和船舶操纵性能。

2 基于解析表达的船舶领域

针对基于统计方法的船舶领域模型仍属定性研究的特点及其存在的一些问题,专家学者展开了采用解析方式确定船舶领域边界的研究。文献[11]最早进行了这方面的探讨,主要考虑了船速和船舶尺度等因素,通过建立船长和船速与船舶领域尺寸的函数关系,提出拥挤水域内可变尺寸的船舶领域。实际上,船舶领域尺寸的缩放因子仍由统计方法获得,该模型是一种半解析的船舶领域。文献[12]结合船舶转向性能等因素给出几种会遇情况下船舶领域边界的量化方法,船舶的操纵性能在该方法中得到一定程度的体现,但模型尺寸与影响因素之间的函数关系是人为给出的一种粗略的估算公式。文献[13—14]提出一种复杂的六边形船舶领域模型,用船速和船舶旋回参数等确定各边尺寸,该模型使得避碰情形下的船舶便于采用进化算法对其航迹进行优化,但其复杂度较高,物理意义较含糊,不便于理解和实际应用。文献[15—16]提出基于阻挡区域和瞭望区域的船舶领域。其中,瞭望区域可视为动界,用以作为警戒区域保障阻挡区域不受侵犯。值得注意的是,Kijima 模型由前后两个半椭圆拼合而成,共用本船正横方向的半轴,并且首尾和正横方向的半径尺寸

是动态变化的,由船舶操纵参数和航行速度等决定,但并未考虑人和环境的因素.文献[17]参照早期的统计模型,结合内河船舶操纵与避碰及航道特点,提出狭窄水域船舶领域的卵形三维模型,将船舶领域向纵深立体扩展,尤其适合桥区 and 浅水道等操纵受限水域.文献[18]面向桥区水域通过能力的研究,也提出了类似的适用于桥区受限水域的两维船舶领域模型.船舶操纵性能对模型的影响得到了一定程度的考虑,但人为和环境因素仍未考虑.针对现有船舶领域模型缺乏统一解析描述的现状,文献[19]提出一种船舶领域模型的统一解析框架,试图从解析角度描述和刻画现有的船舶领域模型,以便深入揭示其内在的模型关系,促进其更深入的研究和广泛的应用.需要指出的是,该解析框架思想所覆盖的仍为现在的一些典型船舶领域模型,因而一些影响船舶领域的复杂因素尚未完全纳入.

总之,这一类船舶领域模型的研究思路为:将本船和他船的位置、速度、航向等变量作为输入,船舶领域尺寸作为输出,运用船舶运动方程、转向模型和减速模型等求得船舶能够安全通过所要保持的最小距离,从而确定船舶领域在不同方向上的尺寸,也就建立了输入与输出之间的函数关系.解析化的船舶领域使得领域边界得以量化,并充分考虑了船舶本身的操纵性能.与基于统计的领域模型相比,船舶的行为能力占有更主导的地位,而非专家知识.但这也忽略了人和环境因素在领域模型中的作用,从而使得这类模型不能满足复杂因素或环境下船舶领域的需求,普适性不高.

3 基于智能技术的船舶领域

由于解析化的研究方法同样不能揭示人为因素和航行环境与船舶领域模型之间的关系,学者们将研究方法转向了近年来发展迅猛的智能技术.文献[20]在文献[19]所提出的统一解析框架的基础上,提出了四元船舶领域模型,进一步提高了船舶领域的灵活度和可操作性,并结合模糊系统理论,提出了模糊四元船舶领域模型用于船舶空间碰撞危险度的评价,所得结果具有一定的优越性.但人为因素和环境因素并未充分考虑.文献[21]认为船舶领域的清晰边界将会导致不必要的操船,甚至会引起额外风险的错误操作.为此,在传统 Goodwin 模型基础上,采用模糊集理论将其领域边界模糊化,首次提出了模糊船舶领域模型,从而使得船舶领域具有更高的自由度和柔性,为避碰决策和危险度评价等提供了

更为科学合理的理论和方法.但是仅以与本船的距离作为确定模糊边界的依据,未免过于主观.文献[22]采用人工神经网络对以两船间的距离、相对方位、来船航向等变量作为输入,本船航行危险度作为输出的经验数据进行学习,得到输入与输出之间的映射关系,用以确定船舶领域的模糊边界,提出动态模糊船舶领域模型,人的经验数据和船舶的因素融入到模型中,但并未考虑环境因素.通过神经网络学习给定的数据样本来得到输入输出之间的关系,已成为智能建模的一个重要手段.同样,对于船舶领域模型来说,基于神经网络的船舶领域也得到了一定程度的研究.文献[23—24]提出基于神经网络学习的船舶领域模型,但所研究的影响因素比较片面,局限于易得的定量数据.需要指出的是,神经网络虽然能够建立输入与输出的非线性映射,但仍是一种“黑箱”方法,并不能得到这种非线性关系的清晰表达.

对现有文献的综述发现,一方面,基于智能技术的船舶领域研究还只是针对船舶参数和经验数据进行简单训练而得到的简易模型,而对于人为因素和航行环境等复杂因素还远未触及;另一方面,单一的模糊系统理论或神经网络技术仍具有很强的主观色彩,还不能解决复杂船舶领域的智能建模问题.

4 船舶领域研究的发展方向

为深入研究复杂航行环境中船舶领域的建模问题,笔者认为以下可能的发展方向应得到足够重视.

(1)针对“人一船一环境”大系统中影响船舶领域各因素的特性,通过模拟、实测和问卷调查等方式获取相应的输入输出数据,构建船舶领域的数据库.这是一个需多方协调、工作量较大的系统性工程,也是极具实际应用价值的工作.

(2)影响船舶领域的人、船、环境等因素本身就比较复杂,难以定量或解析描述.对船舶领域模型的影响关系难以准确或完整的用数学方式表达.因此,如何将多种复杂因素融入到船舶领域模型中,使得既能真实和完整地反映各种复杂因素对船舶领域的影响,又能体现领域模型的本质结构,将是船舶领域研究的关键问题.

(3)模糊系统和神经网络等智能方法已在建模、控制和信号处理等研究领域上得到广泛应用,被证明对于处理抽象和定性信息具有较好的效果.但在船舶领域的研究中,基于智能技术的领域模型远未发挥现有智能信息处理技术的优势,还需深入研究.

(4)结合船舶领域模型结构的研究和智能系统

的学习和表达能力,其模型研究应向着动态自组织的方向发展,为船舶交通安全预测与控制、水上交通规划、船舶避碰决策和海上交通法规完善等领域提供重要的理论依据和有效的解决方法。

5 结 语

为推动船舶领域研究的深入发展和广泛应用,本文从研究方法的角度,对现有船舶领域模型进行分类综述和分析,总结各类模型的主要研究成果和主要特点,剖析其存在的问题,进一步阐明船舶领域研究的核心思想和意义.在此基础上,明确提出船舶领域研究的几个具有重要理论意义和实际价值的发展方向。

参考文献(References):

- [1] FUJII Y, TANAKA K. Traffic capacity[J]. *Journal of Navigation*, 1971, 24: 543—552.
- [2] GOODWIN E M. A statistical study of ship domains[J]. *Journal of Navigation*, 1975, 28: 329—341.
- [3] DAVIS P V, DOVE M J, STOCKEL C T. A computer simulation of marine traffic using domains and arenas[J]. *Journal of Navigation*, 1980, 33: 215—222.
- [4] DAVIS P V, DOVE M J, STOCKEL C T. A computer simulation of multi-ship encounters[J]. *Journal of Navigation*, 1982, 35: 347—352.
- [5] COLDWELL T G. Marine traffic behaviour in restricted waters[J]. *Journal of Navigation*, 1983, 36: 431—444.
- [6] 孙立成. 船舶避碰决策数学模型的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2000.
- [7] 刘绍满. 内河船舶拥挤水域通过能力研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2006.
- [8] PIETRZYKOWSKI Z, URIASZ J. The ship domain in a deep-sea area[C] // *Proceeding of the 3rd International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries*. Sigüenza, Spain: Elsevier Science, 2004: 204—211.
- [9] PIETRZYKOWSKI Z, URIASZ J. Ship domain in navigational situation assessment in an open sea area[C] // *Proceeding of the 5th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries*. Oegstgeest, Netherlands: Elsevier Science, 2006: 237—244.
- [10] PIETRZYKOWSKI Z, URIASZ J. The ship domain—a criterion of navigational safety assessment in an open sea area[J]. *Journal of Navigation*, 2009, 62: 93—108.
- [11] 贾传荧. 拥挤水域内船舶领域的探讨[J]. 大连海事大学学报, 1989, 15(4): 15—19.
- [12] 郭志新. 船舶领域边界的量化分析[J]. 武汉造船, 2001(S1): 63—64.
- [13] SMIERZCHALSKI R, MICHALEWICZ Z. Modelling of a ship trajectory in collision situations at sea by evolutionary algorithm[J]. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, 2000, 4(3): 227—241.
- [14] SMIERZCHALSKI R. On-line trajectory planning in collision situation at sea by evolutionary computation-experiments[C] // *Proceeding of IFAC Conference on Computer Applications in Marine Systems*. Glasgow, UK: Elsevier Science, 2001: 84—89.
- [15] KIJIMA K, FURUKAWA Y. Design of automatic collision avoidance system using fuzzy inference[C] // *Proceeding of IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems*. Glasgow, U K: Elsevier Science, 2001: 123—130.
- [16] KIJIMA K, FURUKAWA Y. Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area[C] // *Proceeding of IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft*. Girona, Spain: Elsevier Science, 2003: 35—40.
- [17] 徐周华, 牟军敏, 季永清. 内河水域船舶领域三维模型的研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2004, 28(3): 380—383.
- [18] 陈厚忠, 郭国平. 内河并列桥梁桥区水域船舶领域模型与通过能力研究[J]. 船海工程, 2008, 37(5): 113—116.
- [19] WANG N, MENG X Y, XU Q Y, et al. A unified analytical framework for ship domains[J]. *Journal of Navigation*, 2009, 62(4): 643—655.
- [20] WANG N. An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain[J]. *Journal of Navigation*, 2010, 63(4): 733—749.
- [21] ZHAO J, WU Z, WANG F. Comments on ship domains[J]. *Journal of Navigation*, 1993, 46: 422—436.
- [22] PIETRZYKOWSKI Z. Ship's fuzzy domain—a criterion for navigational safety in narrow fairways[J]. *Journal of Navigation*, 2008, 61: 499—514.
- [23] LISOWSKI J, RAK A, CZECHOWICZ W. Neural network classifier for ship domain assessment[J]. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2000, 51: 399—406.
- [24] ZHU X, XU H, LIN J. Domain and its model based on neural networks[J]. *Journal of Navigation*, 2001, 54: 97—103.